

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年10月21日 (21.10.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/091089 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H02P 6/18
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004763
- (22) 国際出願日: 2004年4月1日 (01.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-101195 2003年4月4日 (04.04.2003) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本精工株式会社 (NSK LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎1丁目6番3号 Tokyo (JP). NSKステアリングシステムズ株式会社 (NSK STEERING SYSTEMS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎1丁目6番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): タカオミン (TA,

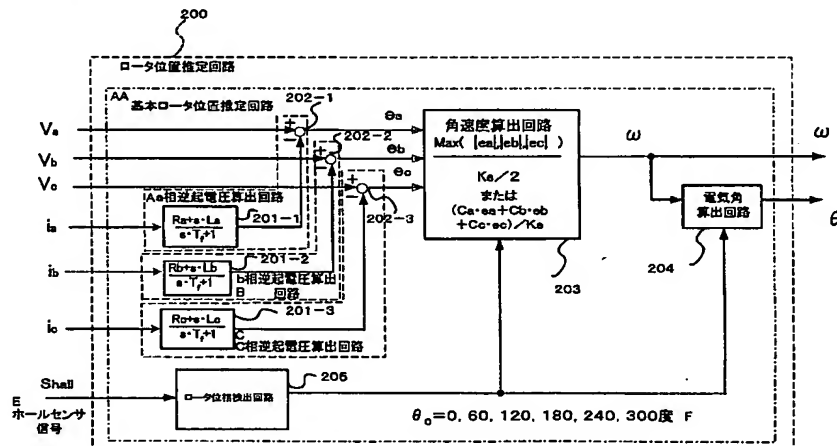
CaoMinh) [VN/JP]; 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 NSKステアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP). 江春浩 (JIANG, ChunHao) [CN/JP]; 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 NSKステアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP). 小林 秀行 (KOBAYASHI, Hideyuki) [JP/JP]; 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 NSKステアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP).

- (74) 代理人: 安形 雄三 (AGATA, Yuzo); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目1番5号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,

[続葉有]

(54) Title: MOTOR-DRIVE CONTROL DEVICE AND ELECTRIC POWER STEERING DEVICE USING THE SAME

(54) 発明の名称: モータ駆動制御装置及びそれを用いた電動パワーステアリング装置



AA...BASIS ROTOR POSITION ESTIMATION CIRCUIT
 A...a PHASE COUNTER ELECTROMOTIVE VOLTAGE CALCULATION CIRCUIT
 B...b PHASE COUNTER ELECTROMOTIVE VOLTAGE CALCULATION CIRCUIT
 C...c PHASE COUNTER ELECTROMOTIVE VOLTAGE CALCULATION CIRCUIT
 E...HALL SENSOR SIGNAL
 F...DEGREES
 200...ROTOR POSITION ESTIMATION CIRCUIT
 203...ANGULAR VELOCITY CALCULATION CIRCUIT
 $\text{Max}(|\text{ea}|, |\text{eb}|, |\text{ec}|)$
 $\text{Ke}/2$
 OR
 $(\text{Ce} \cdot \text{ea} + \text{Cb} \cdot \text{eb} + \text{Cc} \cdot \text{ec}) / \text{Ke}$
 204...ELECTRICAL ANGLE CALCULATION CIRCUIT
 205...ROTOR PHASE DETECTION CIRCUIT

(57) Abstract: In order to accurately drive-control a motor, it is necessary to accurately detect the position of the rotor. Even if a position detection sensor which is inexpensive but relatively inferior in accuracy, such as a Hall sensor, is used, it is possible to provide a motor-drive control device capable of computing

[続葉有]



SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

the counter electromotive voltage from motor detected voltage, detected current, motor winding resistance value and inductance value and thereby computing the electrical angle of the rotor (rotor position), and periodically correcting errors in the calculation of the electrical angle by signals from the Hall sensor and thereby accurately detecting the rotor position. Further, if this motor-drive control device is used, it is possible to provide an electric power steering device which is inexpensive and which creates a good steer feeling.

(57) 要約: モータを精度良く駆動制御するためにはロータの位置を精度良く検出する必要があるが、ホールセンサのような安価であるが精度の比較的劣る位置検出センサを用いても、モータの検出電圧、検出電流及びモータ巻線抵抗値とインダクタンス値とから逆起電圧を算出することによりロータの電気角(ロータの位置)を算出し、算出した電気角の算出誤差を前記ホールセンサからの信号で定期的に修正することにより精度良くロータの位置を検出できるモータ駆動制御装置を提供できる。また、そのモータ駆動制御装置を用いれば、安価で操舵フィーリングの良い電動パワーステアリング装置を提供できる。

明 細 書

モータ駆動制御装置及びそれを用いた電動パワーステアリング装置

5 技術分野

本発明は、電動パワーステアリング装置に用いるに最適なモータの駆動制御装置の改良並びにそれらを用いた電動パワーステアリング装置に関する。

10 背景技術

従来、電動パワーステアリング装置に使用されるモータの駆動制御方式、例えばブラシレスDCモータの駆動制御方式として、ロータの回転位置に基づいて、モータ駆動制御装置からインバータを介して回転磁界を発生させ、ロータの回転を駆動制御させるようにした制御方式が採用される。すなわち、この制御方式は、ステータ内部に所定角度の間隔で配された複数の励磁コイルに、ロータ位置に応じて制御回路によって各励磁コイルの励磁を順次切り換えることにより、ロータの回転駆動を制御するようになっている。

ブラシレスDCモータの駆動制御方式として良く使用されるベクトル制御は、例えば、日本国特許文献（特開2001-18822号公報）などに開示されている。第1図は、電動パワーステアリング装置に用いられるモータの駆動制御装置を示す回路構成である。

同図において、モータの制御指令値を決定する指令電流決定部51から、PI制御部52、2相/3相座標変換部53、PWM制御部54、インバータ55を介してモータ56に至る指令信号の主経路が形成されている。また、インバータ55とモータ56との間に電流センサ57が

配され、該電流センサ 5 7 で検出された信号を、指令電流決定部 5 1 と P I 制御部 5 2 との間に配された減算回路 5 8 にフィードバックさせるフィードバック経路が形成されている。このフィードバック経路には、3 相／2 相座標変換部 5 9 が配されている。

5 この制御系により、指令電流決定部 5 1 では、トルクセンサで検出されたトルクから算出された指令値 T_{ref} や、位置検出センサ 1 1 で検出されたロータの位置を示す電気角 θ と電気角速度 ω を受け、指令電流 I_{dref} 、 I_{qref} が決定される。この指令電流 I_{dref} 、 I_{qref} は、それぞれ、電流センサ 5 7 で検出された後、フィードバック
10 経路の 3 相／2 相座標変換部 5 9 で 2 相に変換されたフィードバック電流によって補正される。すなわち、フィードバック電流 I_d 、 I_q と、電流指令値 I_{dref} 、 I_{qref} との誤差が、減算回路 5 8 で演算される。その後、P I 制御部 5 2 で、P W M 制御のデューティを示す信号が d、q 成分の形で V_d 、 V_q として算出され、2 相／3 相変換部 5
15 3 によって、d、q 成分から、各相成分 V_a 、 V_b 、 V_c に逆変換される。そして、インバータ 5 5 は、指令値 V_a 、 V_b 、 V_c に基づいて P W M 制御され、モータ 5 6 にインバータ電流が供給されてモータ 5 6 の回転を制御するようになっている。

20 なお、6 1 は車速センサ回路で、6 2 は感応領域判定回路で、6 3 は係数発生回路で、6 4 は基本アシスト力計算回路で、6 5 は戻し力計算回路で、6 6 は電気角変換で、6 7 は角速度変換で、6 8 は非干渉制御補正值計算である。

 このベクトル制御の場合、トルク指令値 T_{ref} および ω 、 θ に基づいて電流指令値 I_{dref} 、 I_{qref} が決定される。また、モータの
25 フィードバック電流 I_u 、 I_v 、 I_w が I_d 、 I_q に変換され、その後、 I_d および I_q と、 I_{dref} および I_{qref} との誤差が演算され、

その誤差が P I 制御による電流制御を実行することによってインバータへの指令値 V_d 、 V_q が求められる。そして、 V_d 、 V_q の指令値が再び 3 相の指令値 V_a 、 V_b 、 V_c に逆変換されインバータ 55 が制御され、モータ 56 の駆動制御を行うようになっている。

5 このようなベクトル制御を用いた場合、ロータ位置 θ を正しく検出ができない状態で、モータ制御するとモータのトルクリップルが大きくなり、電動パワーステアリング装置としてはハンドルの操舵に振動などの違和感を感じたり、モータ騒音が大きいなどの好ましくない現象が発生する。そのため、ロータの位置 θ を正しく検出するために、日本国特許
10 文献（特開 2001-187578 号公報）にも記載があるように、ロータ位置検出センサ 11 として、高価であるが検出精度の良いレゾルバやエンコーダを用いる必要がある。

そこで、安価なロータ位置検出センサであるホールセンサを用いて、モータ制御を試みる例もある。例えば、日本国特許文献（特開 2002
15 -272163 号公報）に開示されているように、モータの PWM 制御に用いる正弦波を発生させる位相の起点や途中点を補正するためにホールセンサの信号を利用している。しかし、この例では、次のホールセンサ信号が得られるまでの間の途中区間のロータの回転角度 θ までは算出しておらず、エンコーダなどのロータ位置検出の代りの検出器までは至
20 っていない。

また、エンコーダなどの検出精度の良い検出器でもロータの回転速度が低速になるとエンコーダから得られる検出点数が少なくなり、ロータの位置検出精度がおちる問題がある。そこで、論文（セオング ホ ソン（Seung-Ho-Song）、交流電動機の低速制御のための速
25 度オブザーバ（An Instantaneous Speed Observer for Low speed Control of

a c Machine)、学会誌 I E E E 応用パワーエレクトロニクス
1998 年大会 (I E E E A P E C ' 98)、P-581-586)
に開示されているように、モータ負荷の慣性モーメントとモータ電流を
用いて、この精度悪化の改善を図っている。しかし、慣性モーメントと
5 モータ電流から求められた角加速度から角速度 ω を算出するまでに積分
があり、また、角速度 ω からロータの電気角 θ を算出するまでも積分
があり、よって、積分を 2 回使用するため計算精度が悪く、また、モー
タが駆動する負荷の慣性モーメントを正しく決定することも困難なので
実用的には問題があった。

10 さらに、モータのトルクリップルを大きくする要素としてモータの温
度変化も、その一要素となる。つまり、ロータの電気角 θ を算出する
ときにモータの逆起電圧を使用するようなロータ位置推定回路を利用し
ていると、その逆起電圧を算出するために用いるモータの抵抗やインダク
タンスの値が温度変化によって変化する。よって、その温度変化による
15 抵抗等の修正をしないと、結果的に、ロータの電気角 θ を精度良く算
出することができなくなり、トルクリップルが大きくなる問題もある。温
度変化を考慮したモータの抵抗値算出例として日本国特許文献 (特許第
3104865 号明細書) に開示例があるが、モータの回転速度が 0
(零) であるなどの特殊条件が課せられている。

20 上述したように、ベクトル制御を用いてモータを制御するためには、
モータのロータ位置を正しく検出する必要があるが、検出精度の良いレ
ゾルバやエンコーダは高価な部品であるために電動パワーステアリング
装置を安価に製作するときの障害となる。また、レゾルバやエンコーダ
の高精度ロータ位置検出センサを用いても、モータの低回転速域では正
25 しくロータ位置を検出できない問題があった。さらに、モータの温度変
化によってもロータ位置の検出精度が悪くなる問題もあった。

そこで、本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、安価なロータ位置検出センサを用いるにも関わらず、正しくロータ位置を算出でき、また、モータの低回転速域であっても、或いは、モータの温度変化があってもロータ位置を精度良く算出できるロータ位置推定回路を備えたモータ駆動制御装置を提供することにある。

更に本発明の目的は、正しく算出されたロータ位置を備えたモータ駆動制御装置を用いて、モータのベクトル制御を正しく実行することにより、緊急避難などのハンドルの高速切替え操舵であっても、ハンドル操舵に違和感のない、安価な電動パワーステアリング装置を提供することにある。

発明の開示

本発明は、ブラシレスDCモータのモータ駆動制御装置および電動パワーステアリング装置に関するものであり、本発明の上記目的は、3以上の相を有するブラシレスDCモータの相電圧又は線間電圧を検出する電圧検出回路と、前記モータの電流を検出する電流検出回路と、前記相電圧又は線間電圧と前記電流と前記モータの巻線抵抗値と巻線インダクタンス値とから前記モータの各相逆起電圧を算出する各相逆起電圧検出回路と、前記各相逆起電圧の内の最大値となる逆起電圧を検出して前記モータのロータの角速度 ω を算出する角速度算出回路と、前記角速度 ω からロータの電気角 θ を算出するロータ位置推定回路とを備えることによって達成される。

また、前記モータのロータの電気角 θ_0 を離散的に検出するロータ位置検出センサを備え、前記ロータの算出された電気角 θ を前記ロータの検出された電気角 θ_0 によって修正するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記算出された電気角 θ と前記検出された電気角 θ

。との誤差 $\Delta \theta$ から前記巻線抵抗の温度変化による抵抗変化分 ΔR を算出するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記抵抗変化分 ΔR から前記巻線の温度変化分 ΔT を算出するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記温度変化分 ΔT または前記抵抗変化分 ΔR を用いて、前記ロータの算出された電気角 θ を修正するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記電流検出回路の入力又は出力にローパスフィルターを設置したロータ位置推定回路を備えることによって、より効果的に達成される。

10 図面の簡単な説明

第1図は、従来のレゾルバやエンコーダで検出した電気角 θ を用いたモータのベクトル制御装置の全体を示す制御ブロック図である。

第2図は、本発明におけるロータの電気角 θ の算出に利用する逆起電圧 e_a , e_b , e_c を算出する原理を示す図である。

15 第3図は、本発明における逆起電圧 e_a , e_b , e_c からロータの電気角速度 ω を算出する原理を示す図である。

第4図は、第1の発明による電気角 θ の算出結果を示す図である。

第5図は、第2の発明による電気角 θ の算出結果を示す図である。

第6図は、第3の発明による電気角 θ の算出結果を示す図である。

20 第7図は、本発明を適用するモータ駆動制御装置の制御ブロック図である。

第8図は、第1の発明および第2の発明の実施例である電気角 θ を算出するための制御ブロック図である。

25 第9図は、第3の発明および第4の発明の実施例である電気角 θ を算出するための制御ブロック図である。

第10図は、本発明の変形例を示す制御ブロック図である。

第 1 1 図は、モータの線間電圧を利用した第 1 の発明の制御ブロック図を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

5

本発明は、大きく 4 つの発明より成り立っており、その概要について説明する。

第 1 の発明は、モータの電圧、電流を検出し、その電圧値、電流値とモータの巻線抵抗 R および巻線インダクタンス L から各相の逆起電圧を
10 算出し、その逆起電圧値からロータの角速度 ω や電気角 θ を算出するものである。

第 2 の発明は、第 1 の発明で算出した電気角 θ に算出誤差がある場合、その誤差が累積して、算出した電気角 θ は誤差が大きくなりすぎて実用には適さなくなる。しかし、モータにはロータの電気角を検出できるホールセンサなどのロータ位相検出センサが数個取り付けられているので、
15 第 1 の発明で算出した電気角 θ をホールセンサで数点検出した電気角 θ_0 で修正することが可能で、その修正点毎に誤差はリセットされるので誤差は累積することはない。例えば、ホールセンサ 3 個で、モータが 4 極であれば検出される電気角 θ_0 は、0, 60, 120, 180, 24
20 0, 300 度の 6 点が検出できる。電気角 θ_0 は連続的には検出できないが、離散的に、この例では 60 度ごとには検出できる。そこで、仮に算出された電気角 θ が検出された電気角 $\theta_0 = 60$ 度の時点で仮に 65 度であれば、この 60 度相当の区間で電気角の算出誤差が 5 度発生したことになるが、次の 60 度から 120 度の区間の電気角 θ の算出には、
25 θ の初期値として 65 度ではなく 60 度を代入して新たに算出し、誤差の累積は防止できる。

第3の発明は、第2の発明を改良するものである。第2の発明では、ホールセンサで検出する電気角 θ_0 は連続的には得られず、60度ごとのように離散的にしか得られないので、60度毎に電気角の誤差を修正できるが、その間、例えば、0度から60度の間に発生する誤差は修正できない。そこで、第3の発明では、この区間の電気角の誤差は、電流、電圧の検出誤差或いはインダクタンス値の変化によっても発生するが、最も影響が大きいのは、モータ巻線の温度変化による抵抗値変化によるものである。そこで、その巻線抵抗値の変化分を算出し、その抵抗変化分を第1の発明の巻線抵抗 R の値にフィードバック修正して、電気角 θ を算出することにより、第3の発明で算出する電気角の誤差は、第2の発明で発生する電気角の誤差より小さくすることができる。

第4の発明は、第3の発明で求めた温度変化による巻線抵抗の変化量から、逆に変化した温度の変化量を算出できる。

以上が、本発明の概要である。次に、発明の理論的説明を行い、その後各実施例について説明する。

第1の発明の理論について第2図を用いて説明する。以下の説明で、モータの電圧として相電圧 V_a 、 V_b 、 V_c を検出する例について説明するが、電圧が線間電圧 V_{ab} 、 V_{bc} 、 V_{ca} であっても成立する。後の実施例では相電圧の場合、線間電圧の場合の両方の実施例を示す。電圧の他に検出されるものとしてモータの電流 i_a 、 i_b 、 i_c があり、検出しないものとして、モータの巻線抵抗 R_a 、 R_b 、 R_c およびインダクタンス L_a 、 L_b 、 L_c はモータの特性から求めることができる。これらの値とモータの各相逆起電圧 e_a 、 e_b 、 e_c の関係は、

$$e_a = V_a - (R_a + s \cdot L_a) \cdot i_a$$

$$e_b = V_b - (R_b + s \cdot L_b) \cdot i_b \quad \cdot \cdot (1)$$

$$e_c = V_c - (R_c + s \cdot L_c) \cdot i_c$$

である。

ここで、 s はラプラス演算子で、ここでは微分演算 (d/dt) を表わしている。

- 一方、ロータの角速度 ω の算出について説明する。一般的に、モータ
5 の逆起電圧 e と角速度 ω の関係は

$$e = K_e \cdot \omega$$

- である。ここで、 K_e はモータの逆起電圧定数 [V/rpm] である。
しかし、上記式はブラシモータの式であり、整流子の無いブラシレスモ
ータでは、各相の逆起電圧 e_a , e_b , e_c を整流する必要がある。台
10 形波電流、矩形波電流制御では、整流するとは最大値をとることと同一
である。

これを式で表わすと

$$\omega = 2 \times \{ \max(|e_a|, |e_b|, |e_c|) \} / K_e \quad \cdot \cdot (2)$$

である。

- 15 ここで、逆起電圧 e_a , e_b , e_c の波形を第3図に示す。整流するとは、逆起電圧 e_a , e_b , e_c の包絡線を取る、つまり最大値をとることである。なお、式(2)の分子が2倍されるのは、 e_a , e_b , e_c の絶対値をとることにより、負側の値が正側に重畳されるためである。

次に、電気角 θ は式(3)から求めることができる。

$$20 \quad \theta = \theta_1 + \int \omega dt \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

ここで、 θ_1 は積分区間の初期値である。

式(3)を具体的デジタル処理を想定すると

$$\theta = \theta_1 + n \cdot \omega \cdot T_s$$

- として算出することもできる。ここで、 n は、 ΔT_s をサンプリング時
25 間 T_s で割ったもので、 ΔT_s は次のホールセンサ信号を待つ時間であり、第4図、第5図、第6図において、例えば、 $\Delta T_s = T_{120} - T_0$

θ_0 である。よって、 $n = \Delta T_s / T_s$ が成立する。

以上の理論により電気角 θ を求めることができる。

つぎに、第2の発明の理論について、第4図、第5図を用いて説明する。

- 5 第4図は、第1の発明によって算出された電気角 θ を示している。算出誤差が発生して時間が経過するほど誤差が累積していくことが明らかである。その誤差の量を、例えば、時間 T_{60} では、真値は60度であるのに対し、算出値 θ は65度である。 T_0 から T_{60} の間に5度誤差が発生したことになる。 T_{120} では誤差が累積されて10度になり、算出された電気角 θ は益々真値から離れた値になる。しかし、例えば4極モータにホールセンサが3個取り付けられていれば、60度ごとに電気角 θ_0 を検出できるので算出した電気角 θ を修正する事が出来る。その修正の様子を示すのが第5図である。第1の発明によって T_{60} において電気角 θ は65度になるが、検出された電気角 θ_0 によって60度に修正される。
- 10
- 15

つまり、 θ_1 に $\theta_0 = 60$ 度を代入修正して、電気角 θ は式(4)に示すように

$$\theta = \theta_0 + \int_{T_{60}}^{T_{120}} \omega_e dt$$

・・・(4)

- 20 として算出する。

よって、 T_{60} から T_{120} の区間では電気角 θ の初期値を65度ではなく60度にして算出するので誤差が累積されることはない。例えば、 T_{120} において、第1の発明では θ が130度であるが、第2の発明を用いると θ は125度となって誤差が累積することはない。

第3の発明について、第5図および第6図を用いて説明する。第2の発明によって、ホールセンサの検出値を用い60度ごとに電気角 θ を修正できるが、その間は電気角 θ は誤差を累積している。この間の電気角の誤差を改良するのが第3の発明の目的である。その理論は、算出され

5 電気角 θ の誤差は、巻線の温度が上昇し、主に巻線抵抗 R が第1の発明で使用した値から変化することによって起こされるものと仮定する。電気角の誤差 $\Delta\theta$ から角速度の誤差 $\Delta\omega$ を求め、さらに、 $\Delta\omega$ から逆起電圧 Δe を求め、そして、 Δe から巻線抵抗の抵抗変化分 ΔR_m （ただし、 $m=a, b, c$ ）を求める。そして、第1の発明の式（1）の巻線

10 抵抗の R_m を $(R_m + \Delta R_m)$ に置き換えて修正した R_m で電気角 θ を算出する。

これらの内容を式で表わすと、式（5）になる。

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \quad \dots (5)$$

式（5）から電気角の誤差 $\Delta\theta$ を求める。

15 次に、式（6）から角速度の誤差 $\Delta\omega$ を求める。

$$\Delta\theta = n \cdot T_s \cdot \Delta\omega \quad \dots (6)$$

ただし、 n はホールセンサ信号待ち時間 ΔT_s をサンプリング時間 T_s で割ったものであり、 $n = \Delta T_s / T_s$ が成立する。

次に、式（7）から逆起電圧 Δe が求められる。

20
$$\Delta e = \Delta\omega \cdot K_e / 2 \quad \dots (7)$$

次に、式（8）から抵抗変化分 ΔR_m が求められる。

$$\Delta R_m = \Delta e / i_m \quad \dots (8)$$

ただし、 $m=a, b, c$ である。

そして、抵抗誤差を補正する前のモータ巻線抵抗 R_m （old）に対し

25 て、求められた抵抗誤差 ΔR_m を考慮した正しいモータの巻線抵抗 R_m （new）は式（9）から求められる。

$$R_m(\text{new}) = R_m(\text{old}) + \Delta R_m \quad \cdot \cdot (9)$$

式(9)で求めた抵抗 R_a , R_b , R_c を第1の発明の式(1)に代入し、さらに、第2の発明である電気角 θ を60度毎に検出した電気角 θ_0 で修正すると、その結果は、例えば、第6図に示すようになる。つまり、 T_{00} において、第2の発明の θ は65度で電気角の誤差は5度あるが、第3の発明の改良を加えると θ は、例えば、61度と電気角の誤差 $\Delta\theta$ は1度に減少する。誤差が1度残る理由は、温度変化の原因が、厳密には巻線抵抗だけでなく、検出電圧、電流の誤差等が存在するためである。

第4の発明に関しては、モータの巻線抵抗の温度係数 α ($\Omega/^\circ\text{C}$)は、材質、形状等から既知なので、巻線抵抗の温度変化分 ΔT は、式(10)

$$\Delta T = \Delta R / \alpha \quad \cdot \cdot (10)$$

として求めることができる。

以上が、発明の理論的な説明である。以下、図面に基づいて本発明の好適な実施例について詳細に説明する。

第1の発明および第2の発明の実施例について第7図および第8図を用いて説明する。第7図は、本発明が適用される電動パワーステアリング装置用モータ駆動制御装置の全体の制御ブロック図を示している。まず、モータ1は、ブラシレスD.Cモータで4極の3相モータである。モータ1には図示しないロータがあり、ロータの電気角を検出するロータ位置検出センサとしてのホールセンサ48-1, 48-2, 48-3が120度ごとに配されている。その結果、モータ1のロータの電気角 θ は60度間隔で検出することができる。モータ1をトルクリップルが少ないようにベクトル制御するためには、正確なロータの電気角 θ を正しく算出する必要がある。また、トルク指令値 T_{ref} から電流指令値を算出するためには、ロータの電気角 θ および角速度 ω を用いて算出する

必要がある。

ベクトル制御回路 100 で算出された電流指令値 I_{avref} , I_{bvref} , I_{cvref} を基準値として電流検出回路 32-1, 32-2, 32-3 から検出された電流 i_a , i_b , i_c をフィードバックして減算回路 20-1, 20-2, 20-3 で誤差電流を求める。その誤差電流を入力とする比例積分回路 21 によって電圧指令値 V_{pa} , V_{pb} , V_{pc} を求め、PWM 回路 30 はインバータ 31 を電圧指令値 V_{pa} , V_{pb} , V_{pc} に基づいて PWM 制御する。以上、説明したようにロータの電気角 θ および角速度 ω を正しく求めることはモータ制御に非常に重要である。そして、この電気角 θ および角速度 ω はロータ位置推定回路 200 によって算出される。よって、ロータ位置推定回路 200 の性能が非常に重要になり、本発明が適用される意義がある。

第 1 の発明と第 2 の発明をの実施例であるロータ位置推定回路 200 の詳細な回路図を第 8 図に示す。まず、その構成について説明する。ロータ位置推定回路 200 の入力として電圧検出回路 33-1, 33-2, 33-3 で検出されたモータの相電圧 V_a , V_b , V_c および検出されたモータ電流 i_a , i_b , i_c 、およびホールセンサ 48-1, 48-2, 48-3 からの検出された電気角 $\theta_0 = 0, 60, 120, 180, 240, 300$ 度である。 θ_0 の取付位置は 0 度でなくても良く、例えば、ホールセンサ 48-1 を 30 度の位置に設置したら $\theta_0 = 30, 90, 150, 210, 270, 330$ 度になる。モータ電流 i_a , i_b , i_c は伝達関数回路 201-1, 202-2, 202-3 に入力される。ここで、伝達関数は、式 (11) として表わされ、理論的説明で使した式 (1) に相当する。

$$Z = (R_m + s \cdot L_m) / (s \cdot T_f + 1) \quad \cdots (11)$$

ただし、 $m = a, b, c$ である。 s はラプラス演算子である。

式(11)の分子は、式(1)のモータ電流に乗ずるインピーダンス($R_m + s \cdot L_m$)である。そして、該インピーダンスに、式(1)には存在しないローパスフィルタの伝達関数である $1 / (s \cdot T_f + 1)$ を乗じている。ローパスフィルタを用いる理由は、電流 i_a , i_b , i_c に
 5 は、ノイズが含まれるので、それを除去するためで、理論的な意味より実用的な意味がある。

減算回路202-1, 202-2, 202-3にモータ電圧 V_a , V_b , V_c と伝達関数回路201-1, 201-2, 201-3の出力とが入力され、差を取ると各相の逆起電圧 e_a , e_b , e_c が算出される。
 10 つまり、式(1)を実行して各相の逆起電圧 e_a , e_b , e_c を算出したことになる。この実施例では、伝達関数回路201と減算回路202とで各相逆起電圧検出回路を構成していることになる。例えば、a相逆起電圧検出回路は伝達関数回路201-1と減算回路202-1とから構成されている。

15 次に、角速度算出回路203に各相の逆起電圧 e_a , e_b , e_c を入力し、式(2)が実行され、その結果、角速度 ω が算出される。ここで、角速度算出回路203で必要な逆起電圧の最大値算出の方法としては、式(2)に示すように絶対値をとって2倍して、逆起電圧 e_a , e_b , e_c の最大値を算出する方法もあるが、第3図から判断できるように、
 20 電気角 θ によって、どの相の逆起電圧が最大値になるか決まっているので、ホールセンサ48の検出する60度毎の電気角 θ_0 を利用して、下記の式(12)から導き出せる。

$$\omega = (e_a \times C_a + e_b \times C_b + e_c \times C_c) / K_e \quad \cdots (12)$$

ここで、 C_a , C_b , C_c はコミュレーション(転流)を表わすパラメータであり、台形波、矩形波電流では、「1」、「0」又は「-1」の
 25 値をとる。そして、電気角 θ_0 によって、 C_a , C_b , C_c が「1」に

なる区間と「0」になる区間と「-1」になる区間が決定されるが、その区間はホールセンサ48の検出信号であるShallによって決定することができる。式(12)を用いて角速度 ω を算出する場合は、角速度算出回路203には、逆起電圧 e_a , e_b , e_c およびロータ位相検出回路205からの電気角 θ_0 信号が入力され、それらを基に C_a , C_b , C_c が決定され、角速度算出回路203で式(12)が実行されて、角速度 ω が算出される。

つぎに、角速度 ω から電気角 θ を求めるのに利用する電気角算出回路204は式(4)で示す積分回路であり、角速度 ω を入力して電気角 θ を算出できる。

これが、第1の発明の実施例であるが、電気角算出回路204で算出された θ に、誤差がある場合には、その誤差が積分で蓄積されるために、第4図で示すような結果になり、正しい電気角 θ は算出されず実用には適さない。実際の装置では、部品の誤差、温度変化、経年変化、検出誤差など誤差が発生するのが一般的であり、算出された電気角 θ に誤差が発生するのが一般的である。

そこで、第2の発明を用いて、第1の発明の実施で発生する可能性の高い誤差の累積を防止する改良を行う。具体的には、第8図のロータ位相検出回路205を用いる。モータ1に設置されたホールセンサ48-1, 48-2, 48-3のホールセンサ信号Shallを入力としてロータの電気角 θ_0 を検出する。出力として $\theta_0 = 0, 60, 120, 180, 240, 300$ 度が出力される。この検出電気角 θ_0 を電気角算出回路204に入力して、式(3)および式(4)において初期値 θ_1 を θ_0 でリセットする。この結果、第5図に示すように時間 T_0 において、電気角の真値60度に対し算出値 θ は65度と誤差5度が発生するが、ロータ電気角検出回路205の検出値 $\theta_0 = 60$ 度で算出値 θ は6

0度にリセットされるので、次の積分区間、つまり T_{60} から T_{120} の間は初期値 θ_1 を60度として誤差をリセットした状態で計算するので誤差は蓄積されることはない。以下、 T_{120} と T_{180} の間の区間などの後の区間も60度ごとに誤差はリセットされ蓄積されることはない。

5 第3の発明の実施例を第9図を用いて説明する。

第9図において、減算回路206において、検出される電気角 θ_0 と当該時点の算出された電気角 θ との誤差を求める。例えば、 T_{60} における θ と $\theta_0 = 60$ 度との誤差 $\Delta\theta$ を算出する。これは、式(5)を実行することを意味する。次に、誤差角速度検出回路207において、式(6)

10 を実行する。つまり、誤差角速度検出回路207では $\Delta\omega = \Delta\theta / (n \cdot T_s)$ を実行して、電気角の誤差 $\Delta\theta$ から角速度の誤差 $\Delta\omega$ が算出される。次に、式(7)を実行するための誤差逆起電圧算出回路208によって誤差角速度 $\Delta\omega$ を入力とし、式(7)に従って誤差逆起電圧 Δe が算出される。次に、誤差抵抗算出回路209では、式(8)に従って、
15 $\Delta R_m = \Delta e / i_m$ から温度変化による巻線抵抗の抵抗変化分 ΔR_m が算出される。ここで、 $m = a, b, c$ である。

次に、抵抗補正回路210において、巻線抵抗 R_m は、誤差抵抗算出回路209で算出された抵抗変化分 ΔR_m を考慮した($R_m + \Delta R_m$)に置き換えられる。最後に、抵抗補正回路210で算出された新たな抵抗値 $R_a = R_a + \Delta R_a$, $R_b = R_b + \Delta R_b$, $R_c = R_c + \Delta R_c$ が伝達関数回路201-1, 201-2, 201-3の抵抗 R_a , R_b , R_c に代入され、温度変化を考慮した正しい抵抗値を用いて、第2の発明で説明した手順に従って、新たに角速度 ω 或いは電気角 θ を算出する。その結果、第6図に示すように第2の発明では T_{60} においてA点における $\theta = 65$ 度と誤差5度であったものが、第3の発明を用いることにより、第6図に示すように T_{60} においてA'点における $\theta = 61$ 度と
25

なり、誤差が1度に改善される。つまり、ロータ位置検出センサが検出する離散的な電気角 θ 。同士の間の区間の算出電気角 θ の精度を大幅に改善することができる。

次に、第4の発明の実施例について第9図を用いて説明する。

- 5 第9図の誤差抵抗算出回路209で算出された抵抗変化分 ΔR_m を変化温度算出回路211に入力する。変化温度算出回路211では、式(11)に示す温度変化分 $\Delta T = \Delta R_m / \alpha$ を実行して温度変化分 ΔT を算出することができる。ここで、抵抗変化分 ΔR_m は ΔR_a 、 ΔR_b 、 ΔR_c の3種類があるので、算出された温度変化分 ΔT も3種類発生する
- 10 可能性があるが、最大値を利用するか、最小値を利用するか、或いは平均値を利用するかは、利用目的、或いは装置全体を考慮して選択する。例えば、過熱保護に利用するのであれば、安全のために最大値を利用することが考えられる。また、温度変化分 ΔT が判明すれば、初期温度 T_a に ΔT を加算して巻線抵抗の温度 $T_c = T_a + \Delta T$ も算出可能となる。
- 15 以上説明した実施例では、第3図から明らかなように、角速度算出回路203の出力波形には逆起電圧 e_a 、 e_b 、 e_c の整流波形の小さなリップルが重畳される。それを除去するために、角速度算出回路203の後にローパスフィルターを配して、リップルを除去してから電気角速度 ω として構成する方が実用的である。
- 20 この考えに基づき構成した変形例を第10図を用いて説明する。この変形例のポイントは、角速度算出回路203aの出力にローパスフィルターであるLPF回路212を配したところにある。このLPF回路212の効果により、電気角速度 ω および電気角 θ はリップルの含まない信号として算出される。その後の回路構成は、第9図の回路構成と同じ
- 25 なので、第9図で説明した作用と同じ作用により、誤差角速度 $\Delta \omega$ 、誤差逆起電圧 Δe 、誤差抵抗値 ΔR_m および温度変化値 ΔT_m が算出され

る。このLPF回路を付加した構成の場合は、LPF回路無しに比べ、各算出値はリップルによる変動のない安定した値を得ることができる効果がある。

5 以上の説明では、電気角 θ を求めるために、第2図や第8図で説明したように電圧としてモータの相電圧 V_a , V_b , V_c を用いたが、モータの中性点Nが利用できない場合、モータの線間電圧 V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} を用いても同じように電気角 θ などを算出できる。
つまり、理論的には、式(13)を実行すれば良い。

$$\begin{aligned}
 e_{ab} &= V_{ab} - [(R_a + s \cdot L_a) \cdot i_a - (R_b + s \cdot L_b) \cdot i_b] \\
 e_{bc} &= V_{bc} - [(R_b + s \cdot L_b) \cdot i_b - (R_c + s \cdot L_c) \cdot i_c] \\
 e_{ca} &= V_{ca} - [(R_c + s \cdot L_c) \cdot i_c - (R_a + s \cdot L_a) \cdot i_a] \\
 &\dots (13)
 \end{aligned}$$

その実施例を第11図に示す。第8図と比較すると減算回路202-4, 202-5, 202-6が追加された構成になり、線間電圧 V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} が入力値となっている。

20 なお、以上の説明では、エンコーダやレゾルバのように分解能の高い位置検出センサの代わりにホールセンサなどの安価だが分解能の低い位置検出センサに適用すると説明した。しかし、分解能の高いエンコーダやレゾルバでもモータの回転速度が低くなると検出サンプル数が少なくなりロータの位置や角速度の検出精度が悪くなるので、エンコーダやレゾルバにも本発明を適用してモータの回転速度が遅い領域でもロータの
25 位置、角速度の検出精度を良くすることができる。

以上に説明したように、本発明のモータ駆動制御装置および電動パワーステアリング装置によれば、安価なロータ位置検出センサを用いても、モータの電圧、電流等から算出されるロータの電気角と安価なロータ位置検出センサを組み合わせることにより、モータの低回転速度域も含め、

5 精度の高いロータの電気角或いは角速度を検出でき、さらに、モータ巻線の抵抗値および温度も検出できるモータ駆動制御装置を提供できる。

また、電動パワーステアリング装置においては、安価なロータ位置検出センサを用いても精度の高いロータの電気角を検出できるモータ駆動制御装置を用いて、トルクリップルの少ないモータ制御により、ハンド

10 ルの急速操舵に滑らかに追従できる安価な電動パワーステアリング装置を提供できる効果がある。

産業上の利用可能性

本発明に係るモータ駆動制御装置は、比較的高性能でない安価なロータ位置検出センサを用いるにも関わらず、精度良くロータ位置を算出でき、また、モータの低速域やモータの温度変化があってもロータ位置を精度良く算出できるので、モータを精度良く駆動制御できる。

15

また、本発明に係る電動パワーステアリング装置は、上述したモータ駆動制御装置を用いるので、電動パワーステアリング装置のモータを精度良く駆動制御でき、緊急避難などのハンドルの高速切替え操舵であっても、違和感のないハンドル操舵を安価な価格で提供できる。

20

請 求 の 範 囲

1. 3以上の相を有するブラシレスDCモータの相電圧または線間電圧を検出する電圧検出回路と、前記モータの電流を検出する電流検出回路
5 と、前記相電圧または線間電圧と前記電流と前記モータの巻線抵抗値と巻線インダクタンス値とから前記モータの各相逆起電圧を算出する各相逆起電圧検出回路と、前記各相逆起電圧の内の最大値となる逆起電圧を検出して前記モータのロータの角速度 ω を算出する角速度算出回路と、前記角速度 ω からロータの電気角 θ を算出するロータ位置推定回路とを
10 備えたことを特徴とするモータ駆動制御装置。

2. 前記モータのロータの電気角 θ_0 を離散的に検出するロータ位置検出センサを備え、前記ロータの算出された電気角 θ を前記ロータの検出された電気角 θ_0 によって修正するロータ位置推定回路を備えた請求項
15 の範囲第1項記載のモータ駆動制御装置。

3. 前記算出された電気角 θ と前記検出された電気角 θ_0 との誤差 $\Delta\theta$ から前記巻線抵抗の温度変化による抵抗変化分 ΔR を算出するロータ位置推定回路を備えた請求項の範囲第1項又は第2項に記載のモータ駆動
20 制御装置。

4. 前記抵抗変化分 ΔR から前記巻線の温度変化分 ΔT を算出するロータ位置推定回路を備えた請求の範囲第1項乃至第3項のいずれかに記載のモータ駆動制御装置。
25

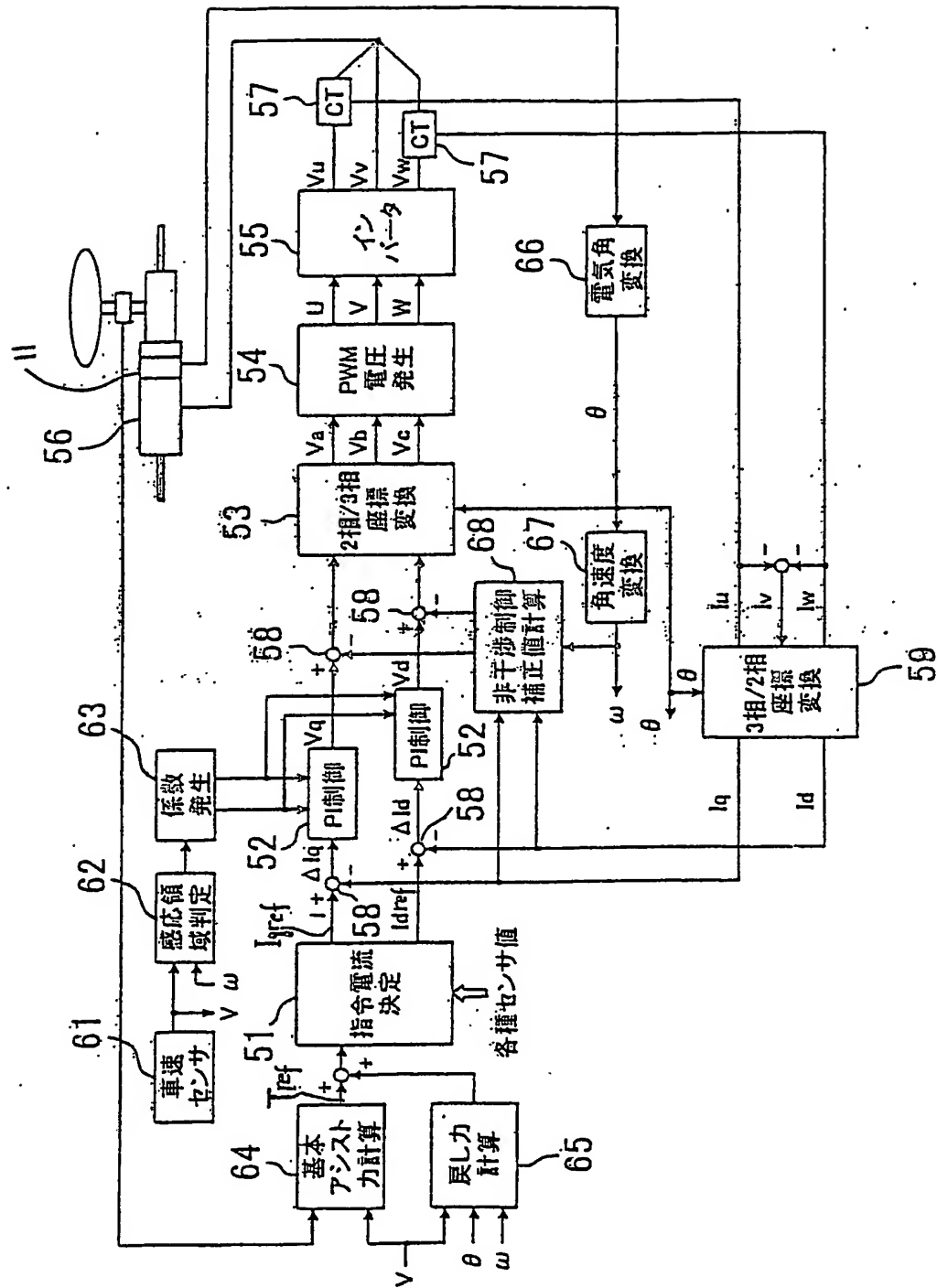
5. 前記温度変化分 ΔT または前記抵抗変化分 ΔR を用いて、前記ロー

タの算出された電気角 θ を修正するロータ位置推定回路を備えた請求の範囲第 3 項又は第 4 項に記載のモータ駆動制御装置。

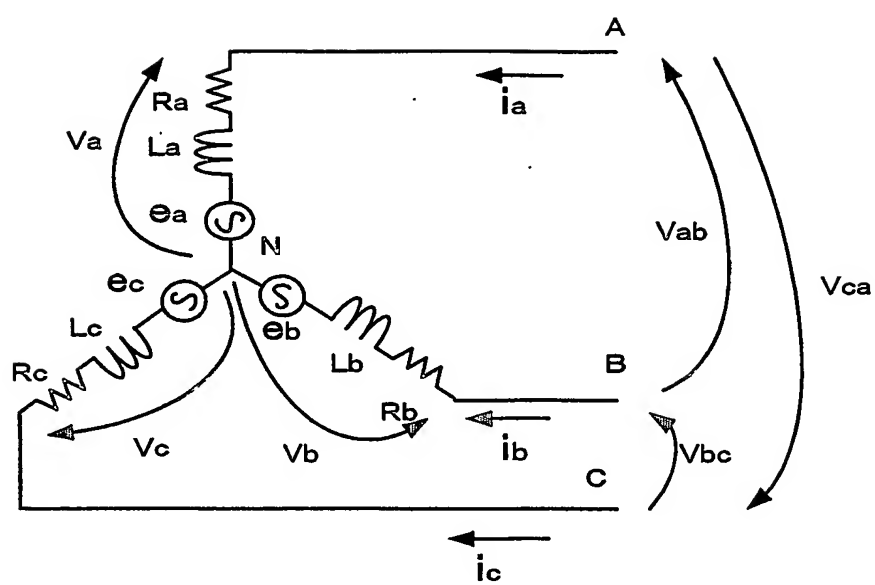
6. 前記電流検出回路の入力又は出力にローパスフィルターを設置した
5 ロータ位置推定回路を備えた請求の範囲第 1 項に記載のモータ駆動制御装置。

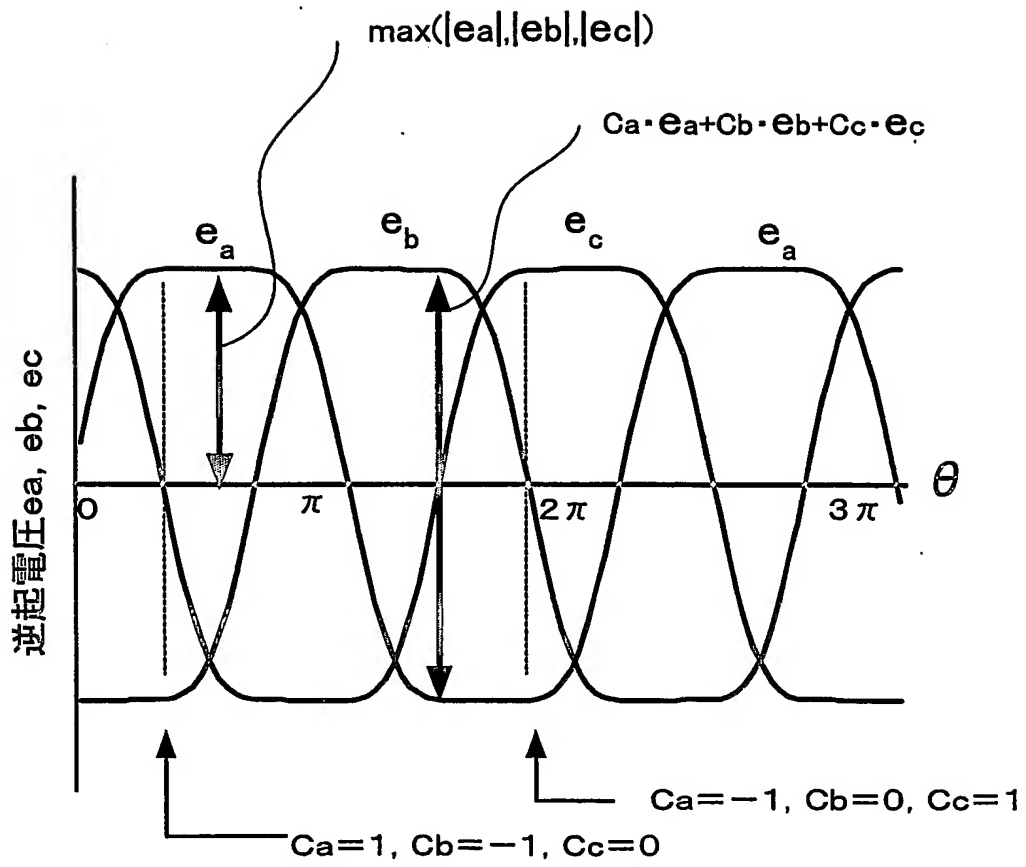
7. 請求の範囲第 1 項乃至第 6 項のいずれかに記載のモータ駆動制御装置が用いられる電動パワーステアリング装置。

第1図

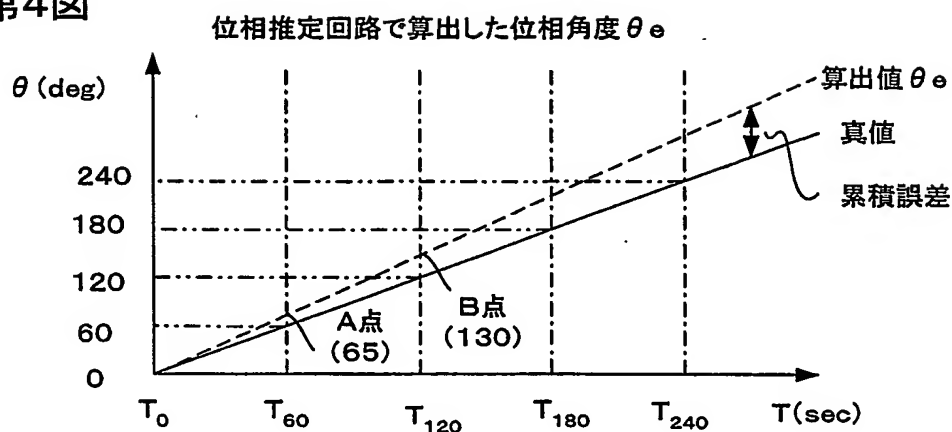


第2図

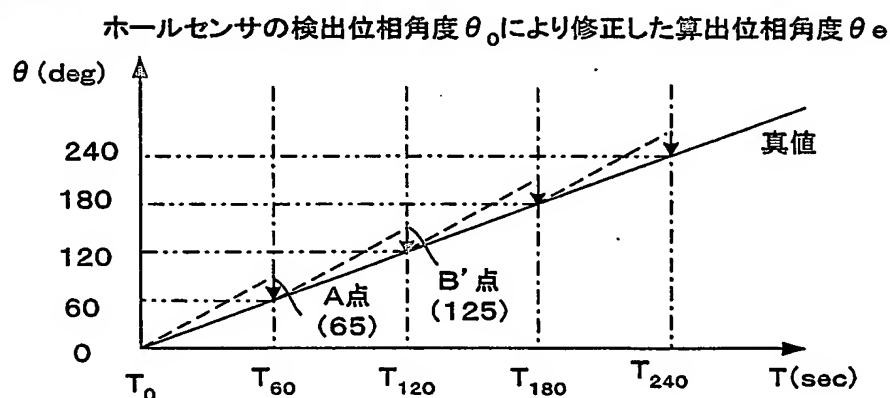




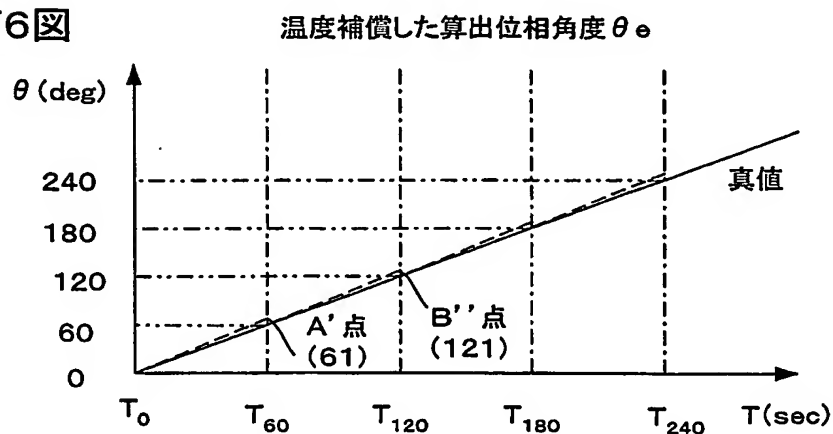
第4図



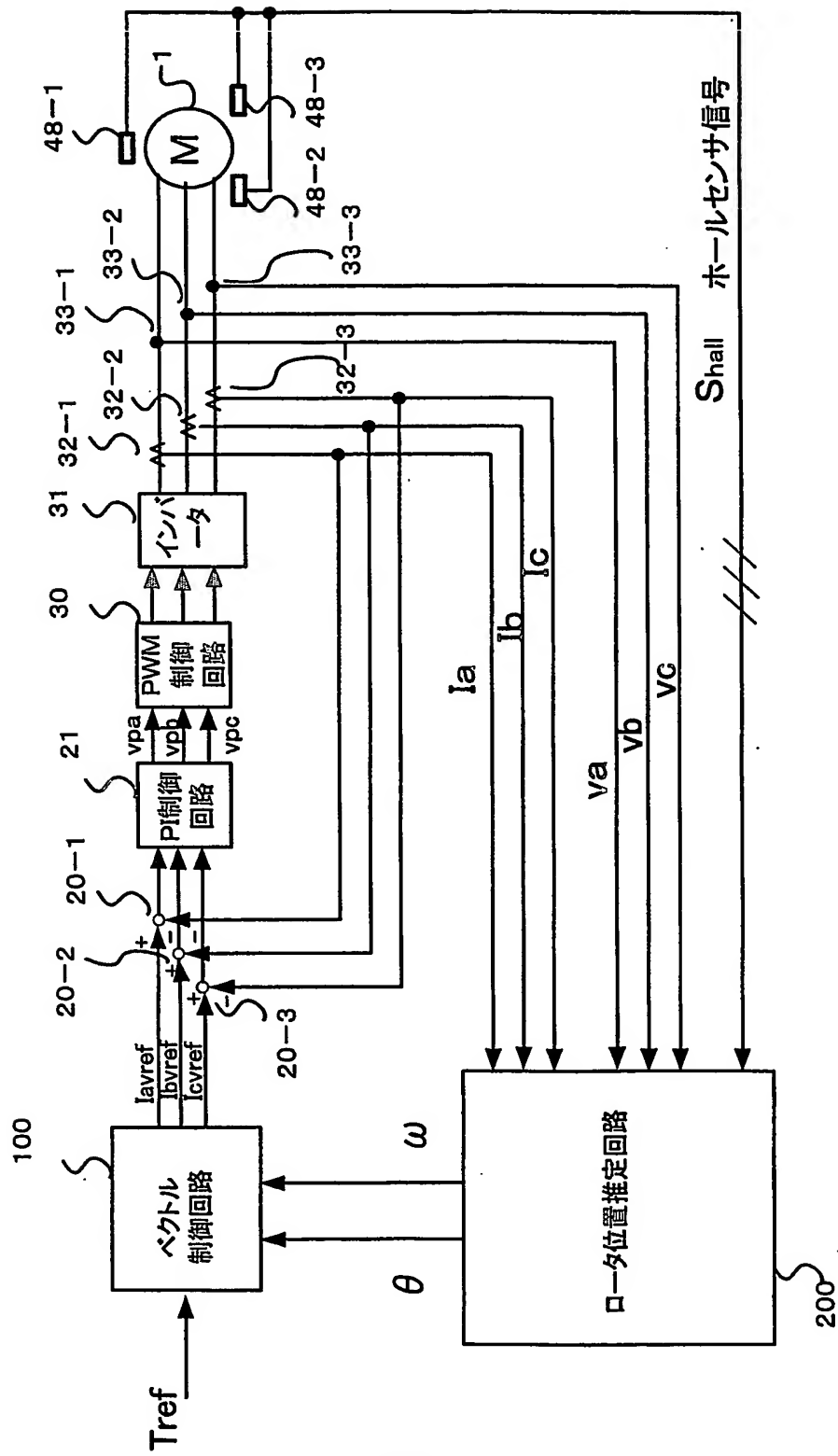
第5図



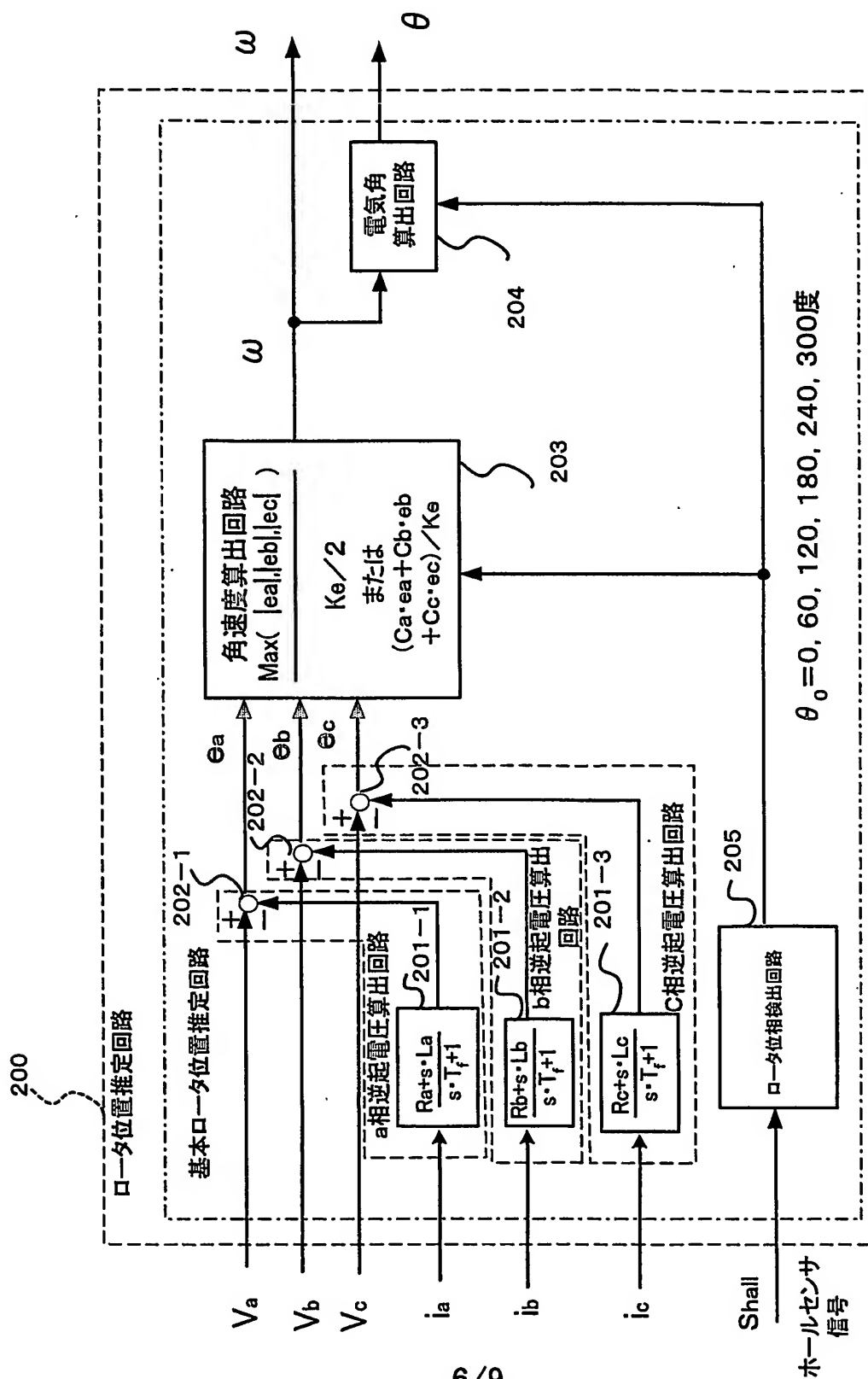
第6図



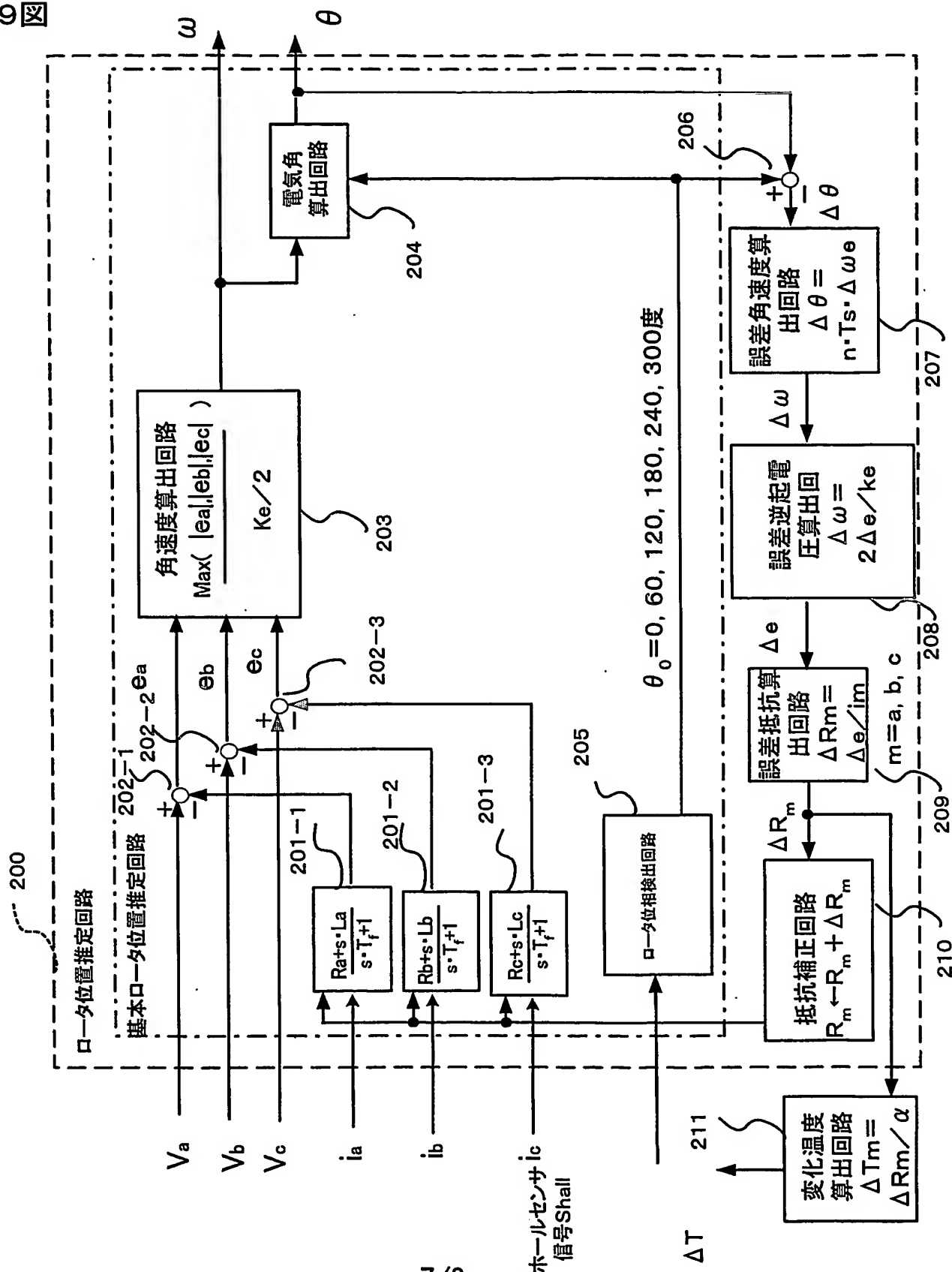
第7図



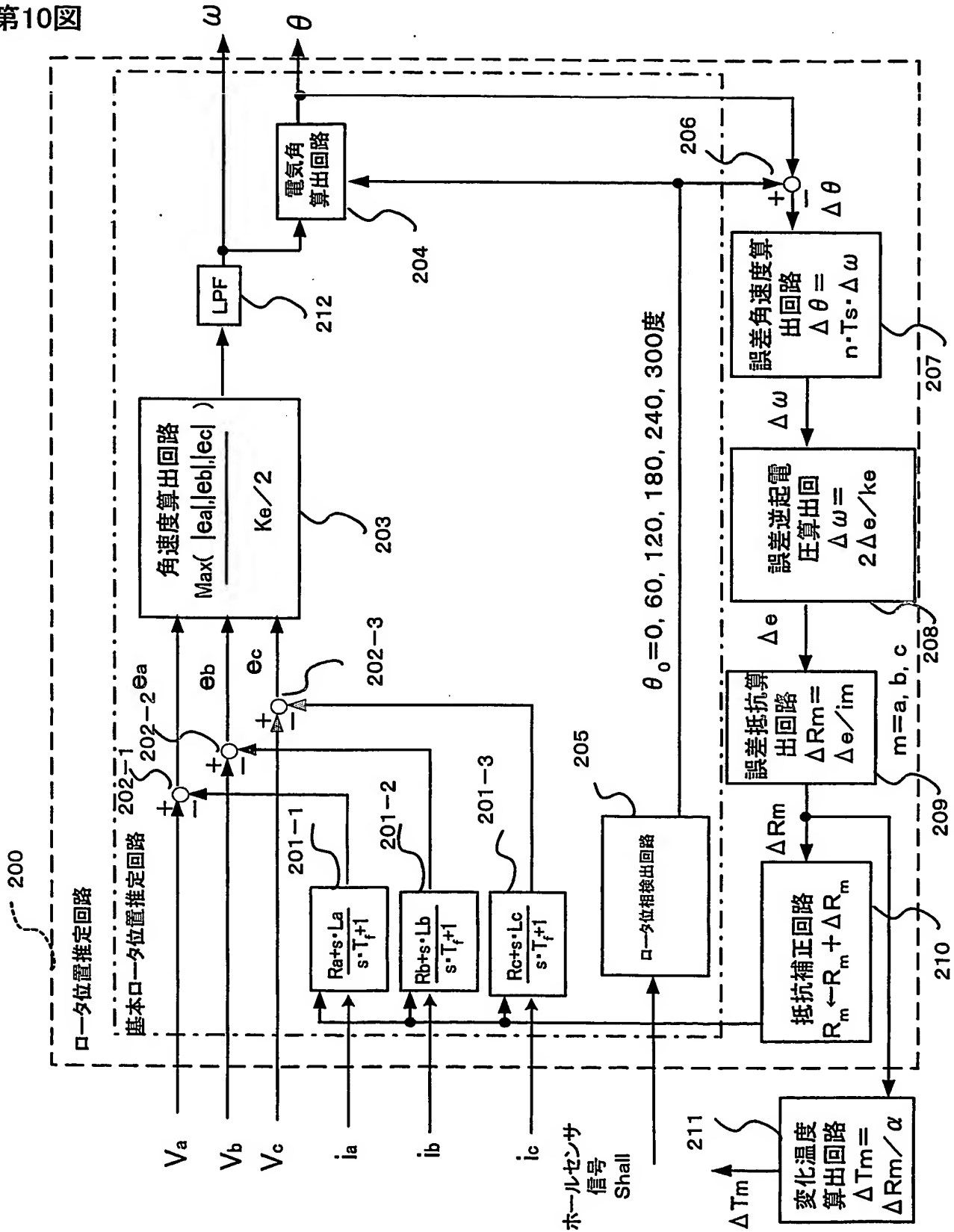
第8図



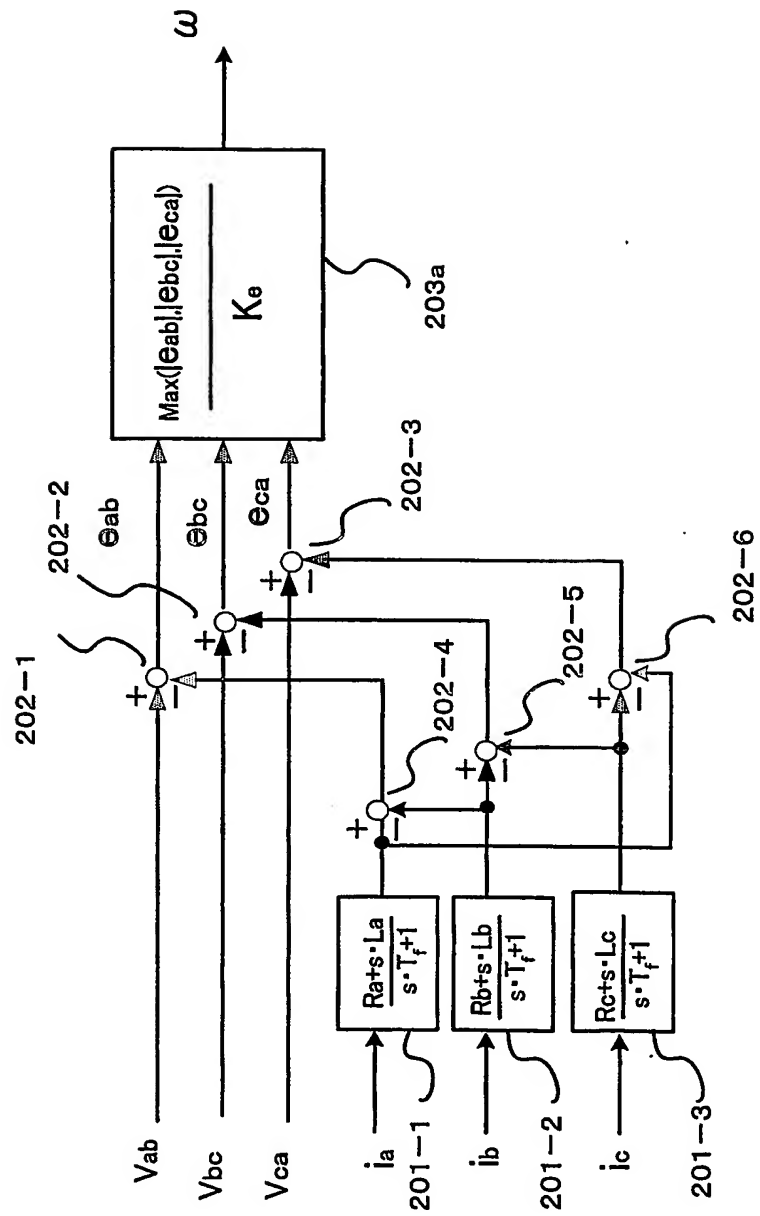
第9図



第10図



第11图



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004763

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H02P6/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H02P6/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2003-33070 A (LG Electronics Inc.),	1, 6, 7
Y	31 January, 2003 (31.01.03),	2
A	Page 3; Par. Nos. [0002] to [0010] (Family: none)	3-5
Y	JP 9-19184 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 17 January, 1997 (17.01.97), & US 5729102 A	2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 July, 2004 (12.07.04)

Date of mailing of the international search report
27 July, 2004 (27.07.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 H02P6/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 H02P6/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 2003-33070 A (エルジー電子株式会社) 31.01.2003, 第3頁【0002】-【0010】(ファミリーなし)	1, 6, 7 2 3-5
Y	JP 9-19184 A (松下電器産業株式会社) 17.01.1997 & US 5729102 A	2

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12.07.2004

国際調査報告の発送日

27.7.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

尾家 英樹

3V

9335

電話番号 03-3581-1101 内線 3356